

探求者物理学丛书

物理学中的方法、性质和哲学

IV 电磁学

E. M. 罗杰斯 著

刘元平 译

张育清 校

科学出版社

1985

内 容 简 介

本书采用通俗易懂的语言,丰富的插图,对物理学中的电磁学部分作了深入浅出的阐述,对定律和公式的推导也尽量采用初等数学。本书适合于对物理学有兴趣的广大读者学习之用。

本书可供中学教师、文科读者和高中文化水平的读者学习之用。

Eric M. Rogers

PHYSICS FOR THE INQUIRING MIND

The Methods, Nature Philosophy of Physical Science

Princeton University Press, 1960

探求者物理学丛书

物理学中的方法、性质和哲学

IV 电磁学

E. M. 罗杰斯 著

刘元平 译

张有清 校

责任编辑 陈咸亨

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1985年4月第一版

开本:850×1168 1/32

1985年4月第一次印刷

印张:7 1/2 插页:1

印数:0001—8,100

字数:196,000

统一书号:13031·2869

本社书号:3974·13—3

定 价: 1.70 元

目 录

第四部分 电 磁 学

第三十二章	电路.....	3
第三十三章	电荷和电场：静电学.....	72
第三十四章	磁学 事实和理论.....	155
第三十五章	化学和电解.....	195

第四部分 电 磁 学

现代城市中，一个普通居民不仅应该知道如何去换保险丝，而且应该懂得更多的电学知识；应该懂得电流、电压和功率之间的关系，以及交流电的利弊……。本册的第一章就提供了“家用电学”方面的知识。

对于原子物理有兴趣的读者，也需要有一定的电磁学知识，才能了解有关原子的知识是怎样积累起来的。这里有几章就是为了这种需要而写的。

关心哲理的学者，将在磁学一章里找到有用的例证。

在阅读这部分所提供的知识时，特别要注意这些知识的限度。一个明智的科学家是充分注意这些限度的。他必须“了解他所不知道的事情”，因为他的绝大部分工作是在已知与未知间的前沿领域。

“知识浅薄者以一得之见而自豪；

大智之士因所知有限而虚怀若谷。”

威廉姆·柯柏 William Cowper (~1760)

第三十二章 电 路

“……人们必须通过身体力行，才学有所得；
因为，虽然有时你以为已经懂得，
但非经亲身尝试，
你决无把握。”

苏发克莱斯 (Sophocles).

[这一章是有关实验室实验的，附有不用讲授可供你自学的內容，请试做我们所推荐的实验——若不行，则请看这些实验演示，并将它们与你所阅读到的知识和已有的一般常识结合起来，以加深对电路的理解。]

早期的电学知识，可追溯到几个世纪以前，从摩擦起电开始，到 1800 年左右电池组发明之后，才发明了用电流来点灯和开动电动机的电路。从那以后，在不到一百年的时间内，电学知识的增长非常迅速，使它不仅成为物理学的一部分，而且开创了一个崭新的电气时代。

在本书中，我们不按照历史进程，而采用实验室的近代仪器来研究电学，并且还将借助于在汽车和电灯的世界里所得到的关于电路的一般常识。

下面是一些室内照明、车灯、电铃等所用“电路”的一些实验事实。首先必须有某种电源——电池组，或发电机，或从发电站引来的输电线，没有电源什么也做不成。为使电灯发光或电动机转动，必须把从电源到电灯、再从电灯回到电源的整个路程用金属导线连接起来。电灯内有一根金属细丝，因此从电源经过电灯再返回电源，一路上都有某种金属导线。若这根导线被切断，电灯便熄

灭。开关不过是一个实现这种切断的装置。保险丝在它熔断时也起同样作用。这条连续的金属路线就称为电路。如果我们取走电灯而用一根很长的细导线构成电路，则整根导线就发热——导线变热是沿着整个路线发生的¹⁾。如果这根导线有的部分细，有的部分粗，则细导线部分就变热，而粗导线部分的变热则不太明显；前面所讲的电路中的电灯实际上就是这种现象的一个极端情况。如果缩短导线的总长，它将变得更热；缩得愈短，导线愈热。单独由一根极短导线构成的电路，会热得足以使它熔化，或使其他物品燃烧起来。这样的电路是一个名符其实的短路。任何电路，只要它非常短(或者说它的电阻非常小)，以致会发生损坏的危险，我们都称之为“短路”。

为了避免短路所造成的某些危险，人们用非金属薄层诸如橡胶、蜡纸、蜡布等把它们都包裹起来²⁾，使导线绝缘！

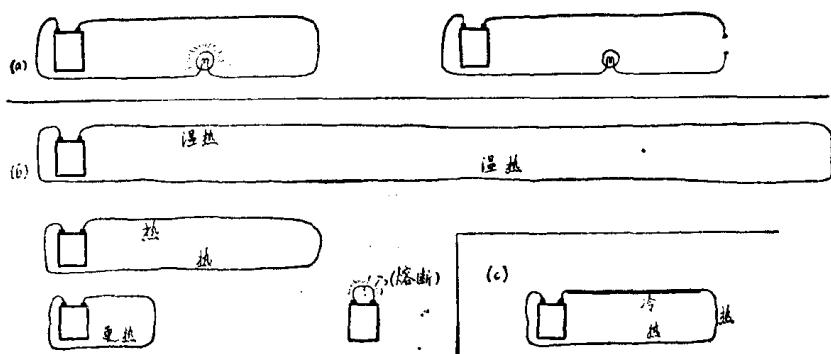


图 32-1 电路

- 1) 这里用单根导线代替灯丝，实际上已把灯丝的发热过程散布在整个电路上了。
- 2) 现在，这些绝缘层是用自动化机械来缠绕、编织、涂沫或绕塑在导线上的；但在早期的电路中，没有可从市场购买的绝缘导线。那时将电引向农田和工厂以供使用的赤裸导线，必须凭借手工用布绳或布条绝缘起来。一百年前，约瑟夫·亨利教授在普林斯顿为制作收音机而进行实验时，必须制作很大的电磁铁绕组，他把他妻子的丝绸裙子撕成碎条，缠绕在导线上使之绝缘。

★习题 1 短路

设导线从电源接到照明灯上再返回，如图 32-2 所示，由于某

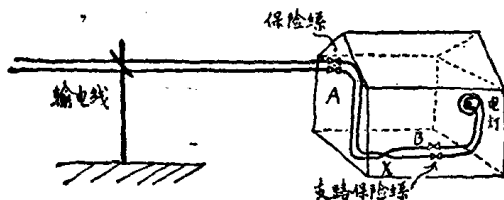


图 32-2 习题 1 用图

种意外而在 x 处有了相当好的金属性接触。

(a) 试问电路的哪些部分可能最热？

(b) 图示的保险丝是低熔点的金属导线，如果发生熔断的话，则发生在 A 还是在 B？

再回头来讨论电灯电路。我们发现，如果将电灯移到电路中另一个位置，它仍然发光。若在电路中串联接入几盏同样的电灯，

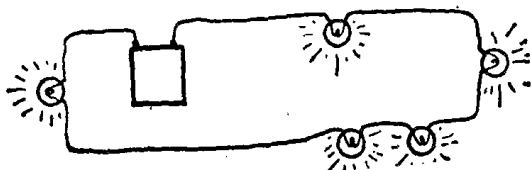


图 32-3 所有的灯一样亮

则它们的亮度都相等，但比电路中只有一盏电灯的亮度要暗得多。这里沿整个电路似乎出现或发生了某种情况，能使电灯发光。用灯丝进行的实验表明，这种发光只是对灯丝提供热量的结果；如果我们能用本生灯使灯丝达到同样热度，它也会发出同样亮度的光。所以，这个特殊的电学性质，看来不过是提供热量的一种方式，它在整个电路内出现³⁾。

这样的电路还有其他的“电学性质”吗？像一个世纪前奥斯特

3) 注意，我们已经把这种现象称之为电学性质。我们知道给它定一个名字是非常重要的。



图 32-4 电磁铁

和安培所做过的那样,将导线绕成线圈而不切断它。你将发现,这导线将会磁化一根铁棒,使它能吸起铁的碎屑。将两个这样的线圈分别接入电路,你可以磁化两根铁棒,并能使它们强烈地互相排斥或吸引。若没有铁芯,线圈间的相互排斥或吸引将是很弱的。这就是电动机、电铃、电话听筒和某些电表的工作原理:电磁铁的相斥或相吸。只要让电路闭合,线圈接在电路的任何部分都行。所以电路有了另外一个“电学性质”⁴⁾,即可以做成磁铁的性质,或者说具有磁效应。

电路还有其它性质吗?有的,但第三个电学效应似乎不太明显,而令人惊奇的是它的发现竟与另外两个同时期,即在 150 年以前,正当电学的发现和发明处于突飞猛进的时期。在电路的任何地方将导线切断,然后将两个断头浸入一杯脏水⁵⁾中,水中就会出现小气泡。在水中加入食盐或醋,此效应变得更为明显,气泡将从一个或两个导线端点处升起。这意味着在溶液中发生了某种化学变化。若在水中投入硫酸铜晶体,再把铜线浸入这蓝色溶液中,则其中一根铜线将逐渐消蚀,另一根则由于铜的淀积而逐渐变粗,这就是“电镀”。我们把这种现象称为“化学效应”。

电流

所有这三种效应可以在一个电路中同时发生,它们甚至可以发生在电池组或发电机的内部。这表明电路处处在发生着某种情

4) 我们用相同的名词“电学的”来称呼这种性质,因为我们发现它与热效应总是一起发生。我们的意思是指它们是同一件事情的不同方面——这是个大胆的猜想,后来它被证实是个很好的猜想。

5) 蒸馏水产生的反应很小,它几乎是绝缘体。

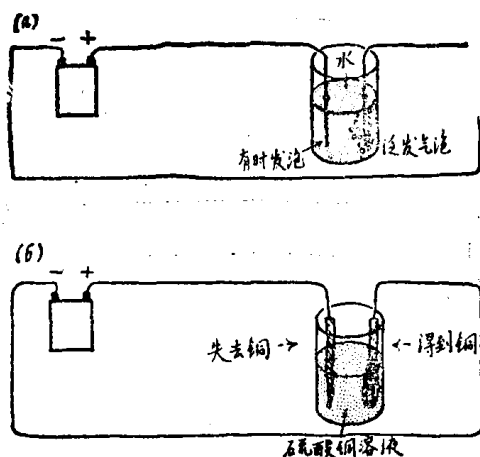


图 32-5 电路的化学效应
(a) 水 (b) 硫酸铜溶液

况。由于这个性能在“电路中处处相同”，致使早期的许多实验家们认为，它很象闭合管道内液体的流动。所以他们设想沿着电路有某种神秘的东西——电在流动。他们为这种流动所取的名词“电流”，后来证明是非常恰当的，因此我们把它保留下来。实际上电路中可能并没有什么东西在流动，而事实若果真如此，则“电流”或“流动”这个词就成了一种成见，使人更难以获得清楚的认识了。幸好我们现在知道，确实有东西在流动，一般情况下是带负电的电子在流动。因而在电学用语中保留了这个借用的名词——电流。虽然我们还未向你提供任何证据，说明这种流动是真实存在的，但我们仍将继续采用“电流”之类的名词来讲述电学，这样会使

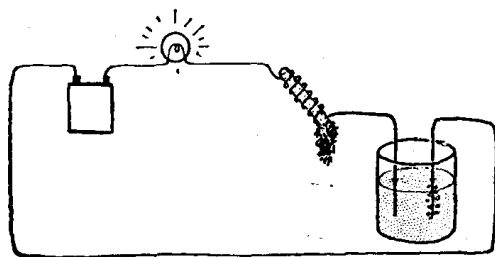


图 32-6 能显示所有三种效应的电路

你们学得更快些。

直至今天,在初等电学教学中,我们仍把电路与整个管道水路进行类比,充水水路内装有水泵、龙头、流量计⁶⁾、压强计……,它们分别与电源、开关、安培计、伏特计……相当。象在教学中所采用的类比法那样,上述比拟的确使初学者更容易理解。管道中充满水时,显然水流(设为 10 加仑/分)在整个水路中是各处相等的,所以,在 A、B、C 等处的流量计的读数将是相同的⁷⁾。A 表上读得 10 加仑/分, B 表上也将读得 10 加仑/分,其余各处的读数也将如此。甚至从装在水泵内部的流量计上也会读得 10 加仑/分。如果管道分成“并联”的几个支路,则不同支路中的水流之和将等于总管中的水流(流过 X 支路的 6 加仑/分,加上流过 Y 支路的 4 加仑/分,等于流过总管的 10 加仑/分)。较复杂的网络如图 32-10 所示的管道网,很明显,在其中任一联接点例如 O,相遇于该点的各管

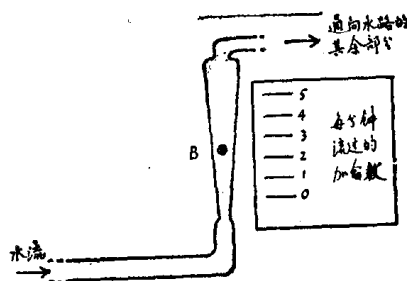


图 32-7 转子流量计——一种用于流体的流量计

- 6) 图 32-7 所示是一种简单形式的流量计,用来测量液体的流量率,它以加仑/分为单位。水沿竖直的圆锥形管子,向上流经一个玻璃的或金属的小球 B, B 略

小于管子的最细部分。在水流的带动下,小球沿管子上升直到它在某处上下徘徊为止。这个位置就代表流量率。水流愈快,小球必定上升得愈高,直到它到达这样的位置,使水有足够的余地流经小球,而不再把它推向更高的去处。这个模型是值得一看的。它会启发你掌握安培计的概念。这种流量计已做成商品,称为转子流量计,它用一个金属小陀螺来代替上述小球,陀螺是斜切的,使它在上下徘徊时产生自旋。转子流量计在管内自由地自旋着,而玻璃球则倾向于偏到管子的一边去。(思考题:为什么小球会偏向一边?这与本教程前面部分所讲过的知识有关。)

- 7) 如果不是这样,水一定会在某些地方积聚起来或在某些地方漏掉。因为对于闭合管道内的不可压缩的液流来说,水路各处的流量率必须相等。

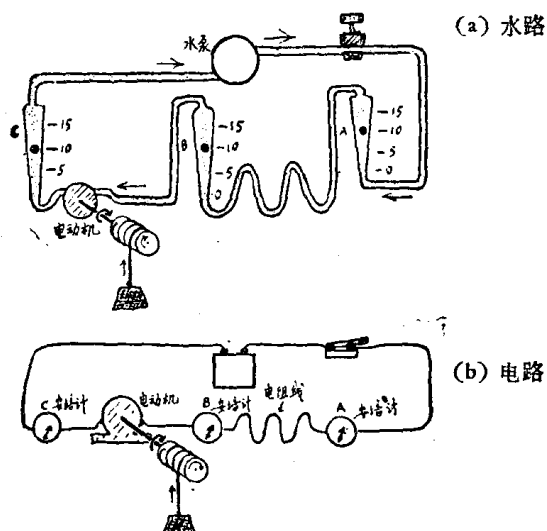


图 32-8 类比线路

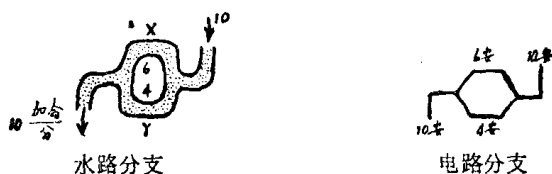


图 32-9 有分支的线路

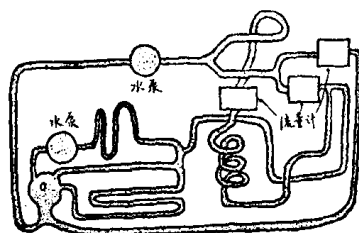


图 32-10 管道网

的流量率的总和等于零(计算时用正、负号,以区分流入和流出O处的水流)。虽然我们说电路与水路“正好相似”,但这并不能证明电路也一定具有这种性质。“电流流动”是一种事后认识到的描述,它在我们发现电路的确有类似于水路的那些实验性质之后才引入的。就这点而论,这也算是一个很好的教学方法,但若误用,试图

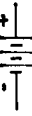
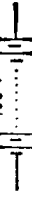
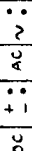
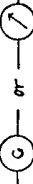
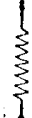
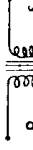
				
单节电池	6 节电池组	100 V 电池组	DC 墙上电源	电动机或发电机
或 			或 	
熔断器	开关	双刀开关	电灯	电容器
				
安培计	伏特计	瓦特计	“电流计” (= 测量微小电流的 高精度表法计)	电阻器并联
				
电阻器	(即使这是由导线形成的螺旋 形线圈, 它也是电阻器符号)	可变的电阻器 (= 变阻器)	电阻器串联	水中的热线线圈
				
电感 (或电感)	具有铁芯的电 磁线(或电感)	变压器	电缆槽	水中的热线线圈

图 32-11 画电路用的标准符号

把它当作一种证明,那就很不科学了⁸⁾。

虽说与水路的类比,给了你有用的见解,但若有可能,你应该在自己的实验室里亲自动手做做实验,而不要仅看看示范表演而已。如果你有合作者,那末每个人在连接仪器之前,应该先画出自己的电路图。电路图画好之后,你可以按图接线,这样连成电路这个工作就显得轻而易举了。假如你把电路图丢在一边,而只凭“脑袋想想”来连接电路,就说明你在瞎碰运气,这是一种不科学的态度,也不是一位高明的科学家所采取的态度。

画电路图

很久以前,物理学家和电气工作者就把电路图的制作规格化了。这里列出的是标准的规定和符号,今后我们将要用到它们。所有的接线,不论粗细,都用细直线表示出来,并且尽可能画成竖直与水平的。这样,简单的电路就被画成矩形,而不管它们在实际的实验中,外形是否相像。在电路分支的地方,可以继续画成矩形,或者使用斜线⁹⁾。

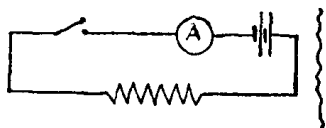


图 32-12

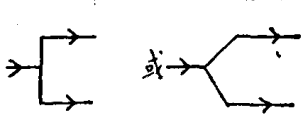


图 32-13

8) 看来这一长段话似乎是我们对教师的好心说明表示不满。虽然根据某个权威性的论述来争论“必须是什么”,是中世纪科学的一个极大错误,但是今日的科普工作者则往往错误地把难以掌握的知识,改写成似是而非的类比,使人从表面上看,误认为科学是从这种类比中产生的。读者除非事先受到警告,否则想用类比法使物理学变得清楚些的做法,会将读者引入谬误。

9) 在两根导线交叉而不接触的地方,用跳越(a)这个记号来表示,使人能一目了然,而在导线连结之处用一焊接圆点(b)来表达,也能使人一目了然。要避免画出既无跳越记号又无圆点的模棱两可的联接点。有些收音机设计者会轻蔑地说,“哈,这些事情是任何有关的人员都清楚的。”这种态度是不对的

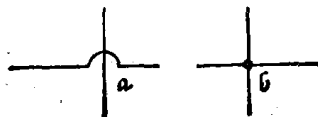


图 32-14

正和负

在某些电效应中，有证据表明流动有确定的方向。电池组上的两个旋钮接头并不等同。所以漆成红色和黑色或标上+和一加以区别，它们被称为正的和负的¹⁰接线柱。电池组是由电池串联而成的，在画电池组时，我们用下列标准规定，因此不必再对每一只电池的正和负标上+和一的记号：

把负接线柱画成粗短的竖直线(实际上就是一个负号!)

把正接线柱画成细长的竖直线(这实际上代表一个+号!)

在画串联起来(即前一个电池的+与下一个电池的一连接)的电池组时，多个电池间的连接不用画出(如下图所示)。



图 32-15

电 路 实 验

(在每个实验中，都从画电路图开始)

实验 A 简单电路

- (i) 用安培计¹⁰“测量”流过一只开亮着的汽车小灯的“电流”。
- 为达到这个目的，你要用导线把电池组、开关、安培计串联起来，组成一个闭合电路。

10) 正与负的名称由 B. 富兰克林 (Benjamin Franklin) 提出的。它们并不意味着其中一个比另一个优越。我们也可以把它们叫做 A 和 B。但是加和减的算术意义给我们一个有益的启示，即它们可与“相反的”电荷相联系，这些相反的电荷能互相中和，正像正数 +6 和负数 -6 那样，可以相加等于零。

- (ii) 用“可变电阻”或“变阻器”¹²⁾改变流过车灯的电流。为此要在该电路中加入一个可变电阻。
- (iii) 请试验一下保险丝,并注意产品厂家所标明的使用要求。给你的保险丝上面标有“1 安培保险丝”。

- 11) 实验室中使用的安培计 在大多数常用的安培计中,如果颠倒从电池组引来的接线,安培计指针就反向运动。因此说电池组的两个端头是不同的,这就是有力的根据之一。为了避免弄错和损坏,电表厂给一个接线柱标上加号。安培计并不象电池组那样,它没有真正的+和-,所以这种标记不是一种科学的描述,而仅仅是一个任意的传统规定。这个规定就是: 将应该接上从电源+处来的导线的那个接线柱标为“+”。

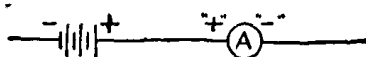


图 32-16

精密的安培计很容易受到损坏。在这种电表内部,指针是固定在一个精巧的支架上,这支架可在宝石轴承上转动,这种宝石轴承和表的摆轮轴承相似。轴的两端不是真正的几何点(端点如果太尖了,它会弯曲和变钝),而是在宝石支撑的地方有极小的面积。可动系统的重量对这个极小的面积,产生巨大的压强,这使该点有变钝的危险。在精密电表中,这个压强可达几个吨/平方英寸。如果你突然把电表下放到桌子上,这个突如其来的负加速度,要比“g”大许多倍,对支点产生的压强比原来压强大许多倍。因此,支点可能变钝,仪器的读数将不精确。修理费是很贵的,所以取放电表应该轻轻的。

- 12) “变阻器”意即“流动稳定器”或“流动控制器”。实验室通常用的变阻器,是一个合金导线做成的线圈,它的两端与接线柱 A 和 B 相接,还有一个与导线接触的滑动器 S,它与接线柱 C 相连。若需要的电阻是可变的,你必须在这三个接线柱中选用两个。

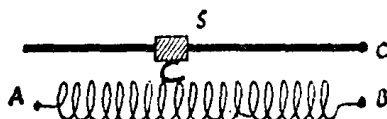


图 32-17